

# Regionális klímamodellezés

**Schuchné Bán Beatrix**

Bordi Sára, Duics-Korosecz Lilla, Megyeri-Korotaj Otília,  
Zempléni Zsuzsanna

Klímamodellező Csoport, Éghajlatkutató Osztály



Nyílt Nap az ELTE meteorológus BSc hallgatók számára  
2024.04.16.

# Éghajlati modellezés

**Schuchné Bán Beatrix**

Bordi Sára, Duics-Korosecz Lilla, Megyeri-Korotaj Otília,  
Zempléni Zsuzsanna

Klínamodellező Csoport, Éghajlatkutató Osztály



Nyílt Nap az ELTE meteorológus BSc hallgatók számára  
2024.04.16.

# Tartalom

1. Éghajlat, éghajlatváltozás
2. Az éghajlat modellezése
3. Mivel foglalkozunk?



# Tartalom

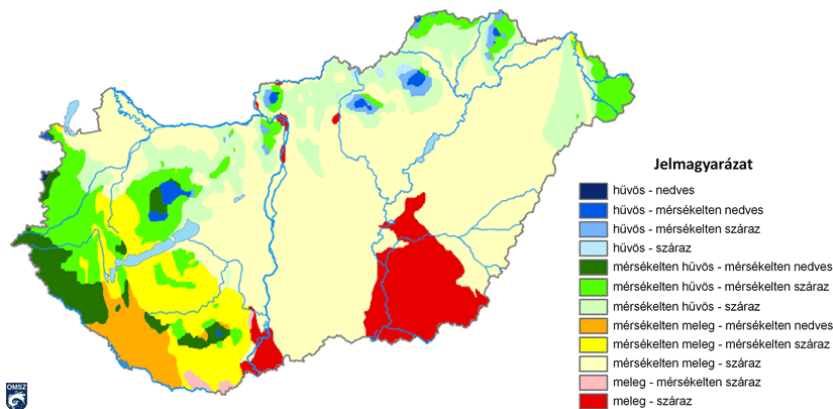
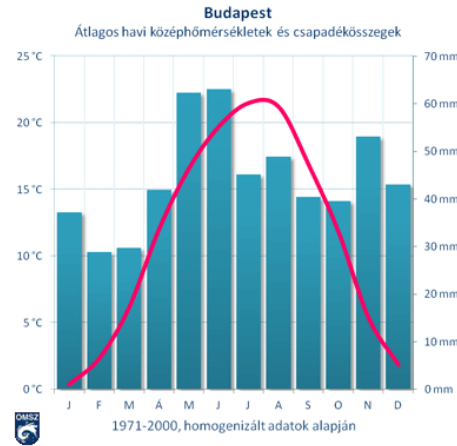
1. Éghajlat, éghajlatváltozás
2. Az éghajlat modellezése
3. Mivel foglalkozunk?



# Éghajlat, éghajlati rendszer

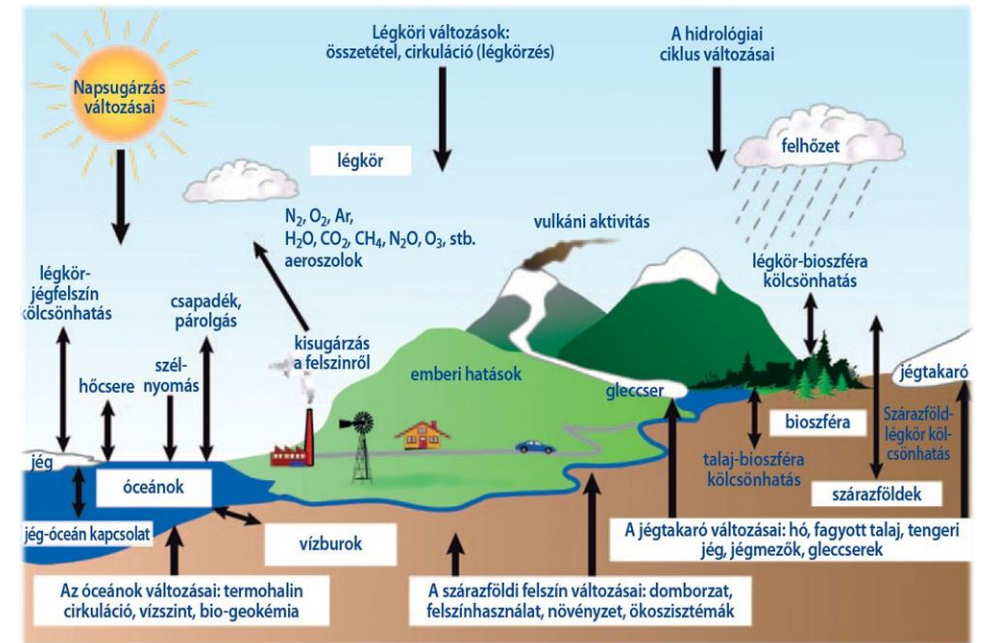
## Éghajlat:

- Az éghajlati rendszer „szokásos”, hosszú idő (több tíz év) folyamán tanúsított viselkedése
- Lassú változások jellemzik
- A meteorológiai változók **statisztikai** értékeivel (pl.: átlag, szórás) írjuk le

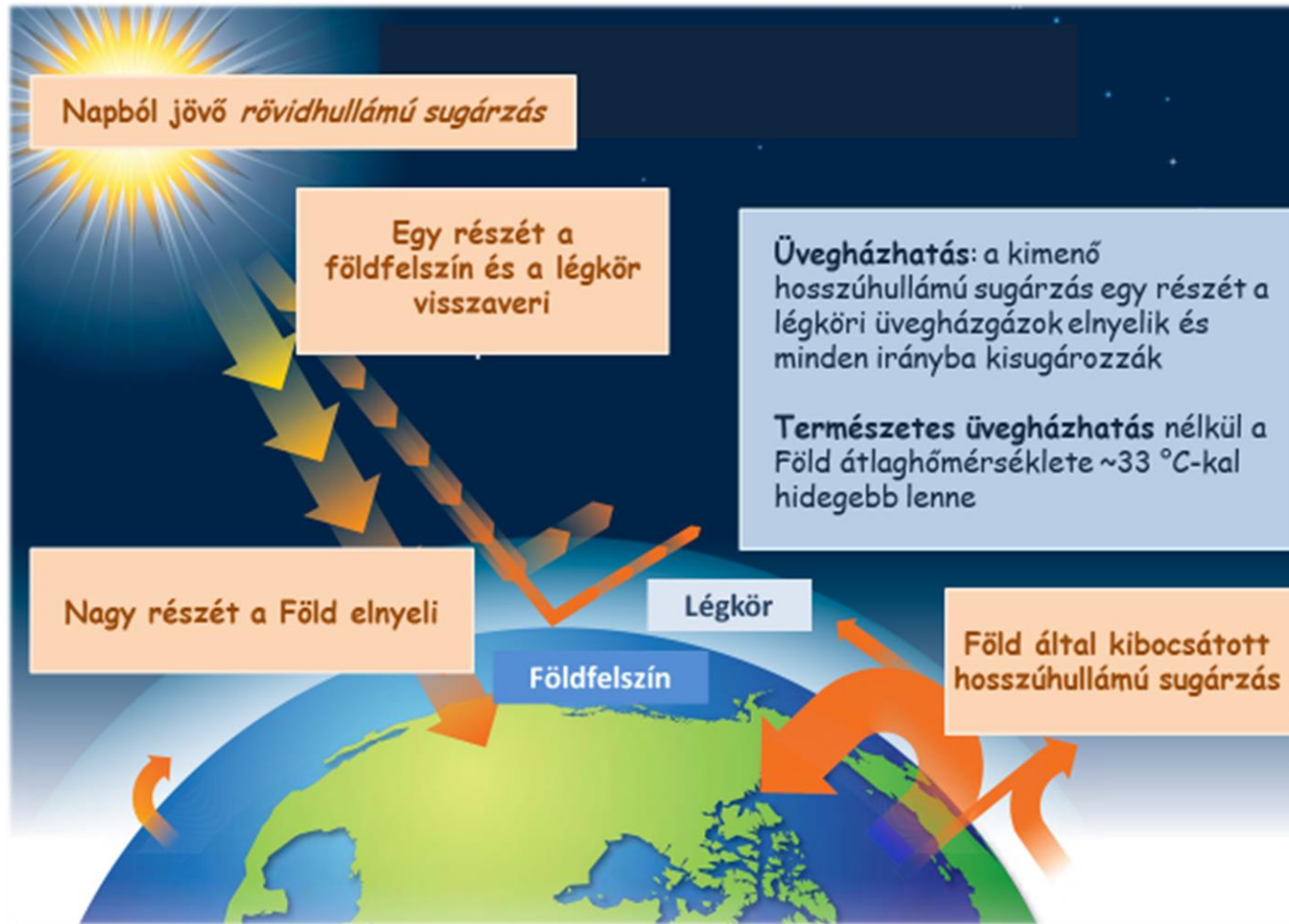


Az **éghajlati rendszer**: az alábbi geoszférák kölcsönható együttese:

- Légkör
- Vízburok (felszíni és felszín alatti vizek)
- Jégfelszín (hó- és jégtakaró)
- Földfelszín
- Élővilág

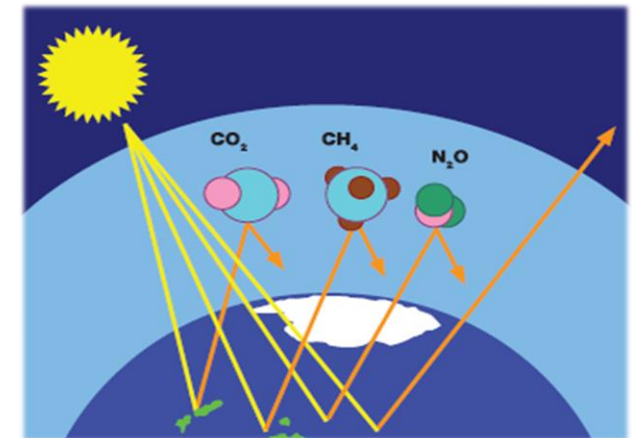


# A napsugárzás szerepe



Üvegházhatású gázok:

- vízgőz
- szén-dioxid
- metán
- dinitrogén-oxid
- ózon



**Éghajlatváltozás: a sugárzási viszonyok tartós megváltozása**



# Éghajlat alakító tényezők

## Természetes kényszerek

### Föld pályaelemeinek módosulása

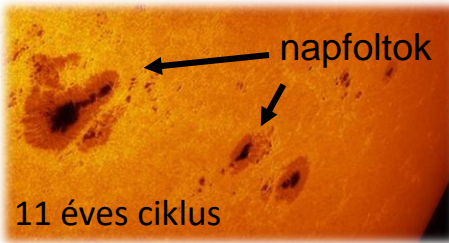
Tengelyferdeség változása (~41 ezer év)

Tengely pörgettyű jellegű mozgása (~21 ezer év)



Ellipszis lapultságának változása (~95-100 ezer év)

### Napsugárzás változása - napfoltok



### Vulkánkitörések

eseti jellegű

## Antropogén kényszerek



### Energiatermelés



### Ipari tevékenység



### Mezőgazdaság

### Közlekedés

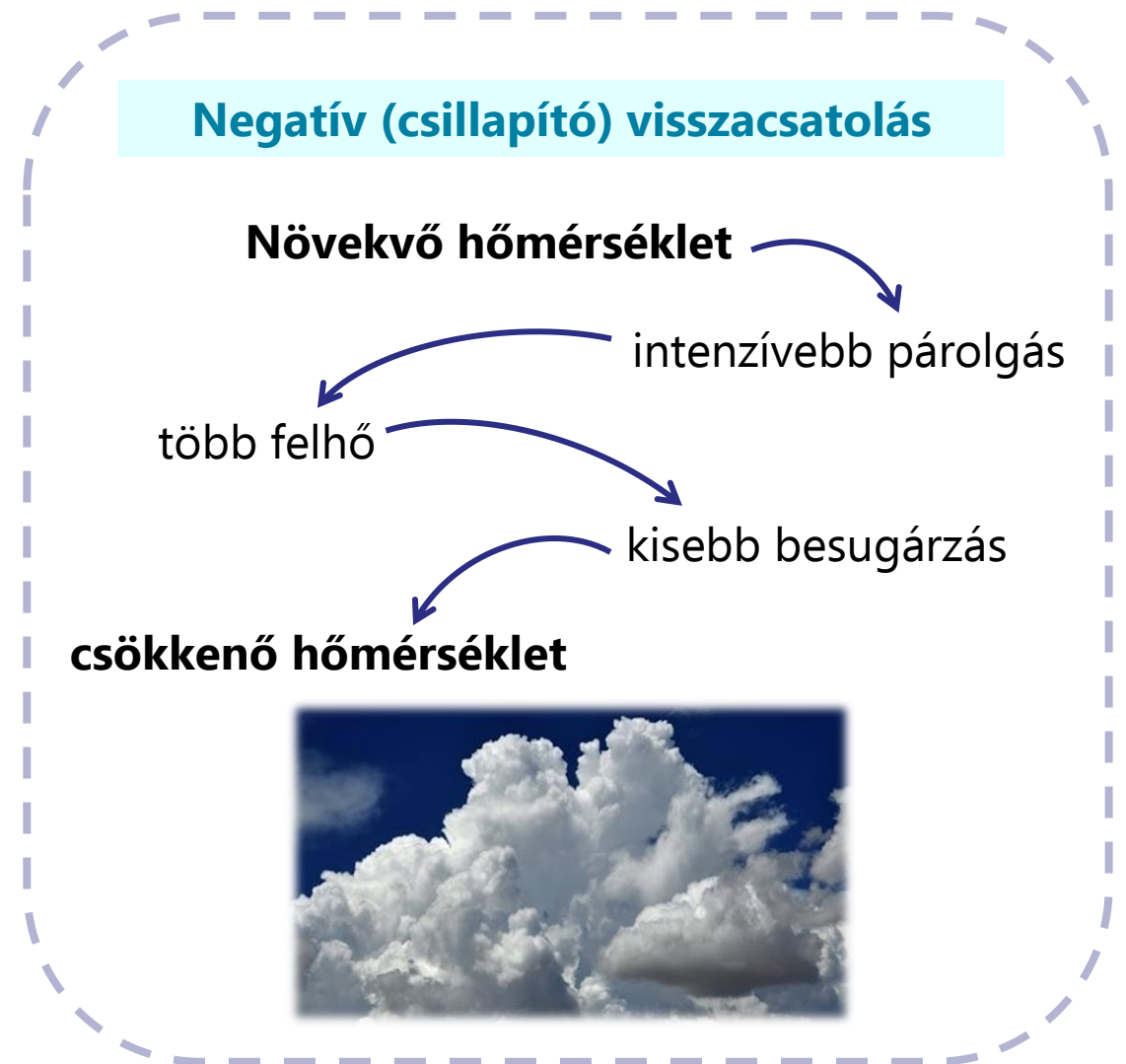


### Háztartások

# Éghajlat alakító tényezők

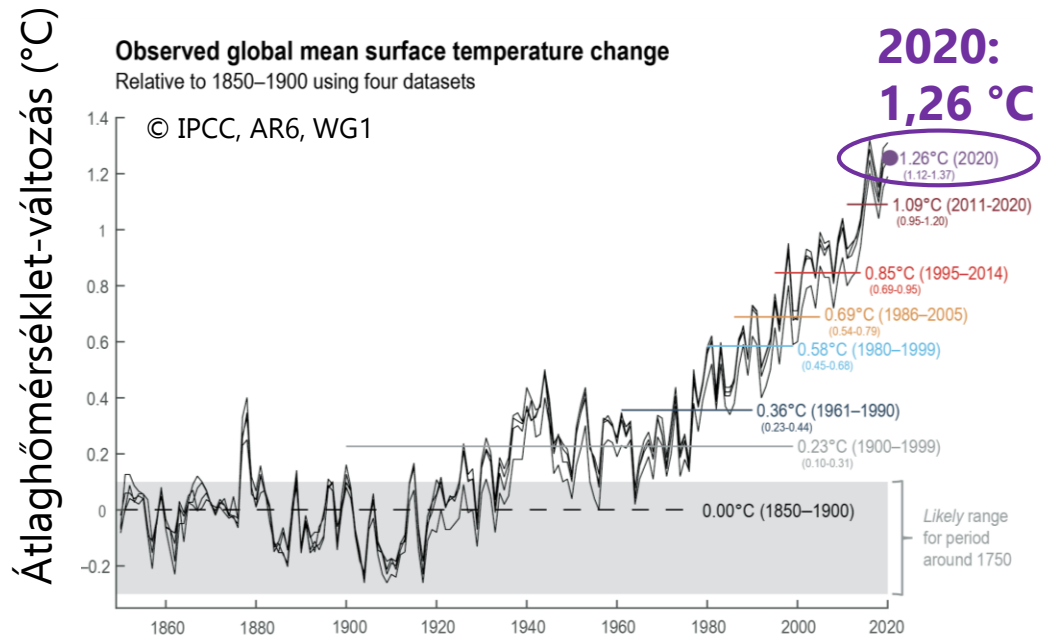
## Belső változékonyság

- Az egyes éghajlati elemek között szoros kölcsönhatás van
- Nem lineáris visszacsatolások

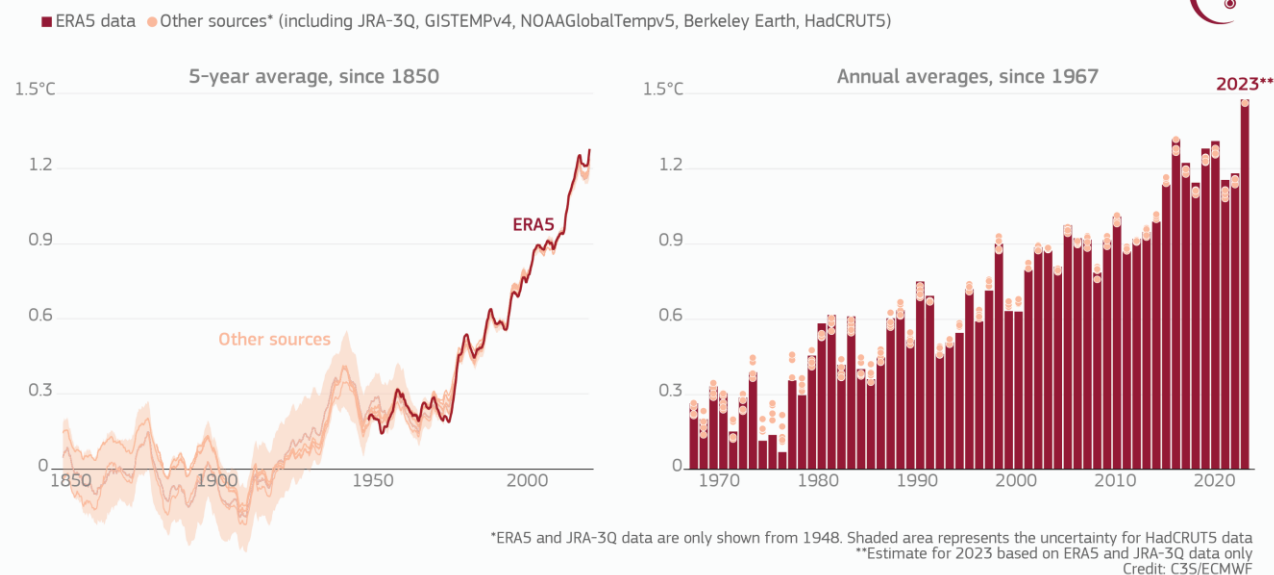




# Megfigyelt változások

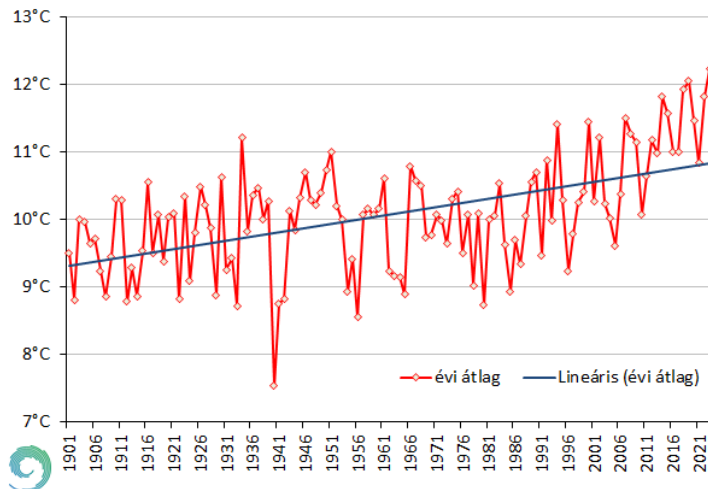


## GLOBAL SURFACE TEMPERATURE: INCREASE ABOVE PRE-INDUSTRIAL LEVEL (1850-1900)



## Évi középhőmérséklet Magyarországon 1901–2023 (°C)

Trend: **1,53 °C**



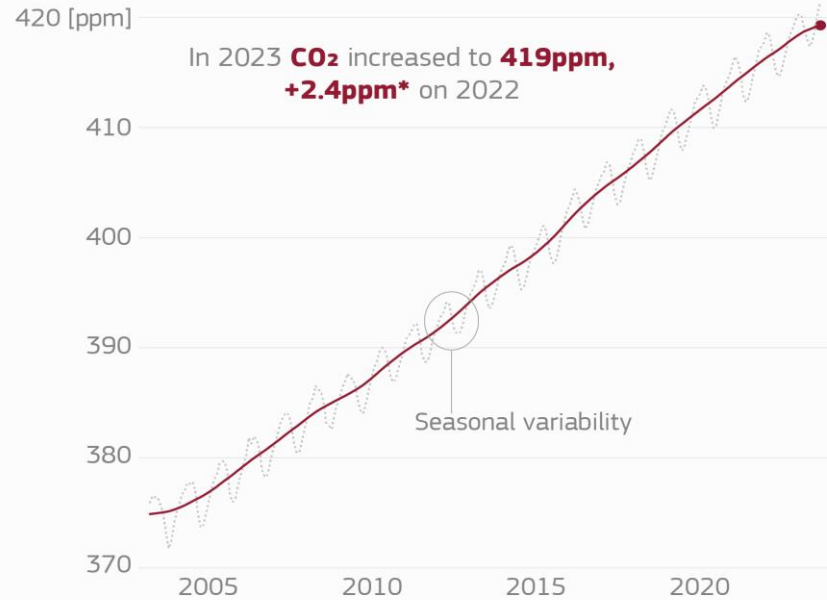
**2023:**

- **1,48 °C**-kal haladta meg az iparosodás előtti (1850–1900) időszak átlagát

# Megfigyelt változások

## GLOBAL ATMOSPHERIC CONCENTRATION OF CARBON DIOXIDE

..... Monthly global mean column-averaged concentration  
— 12-month average

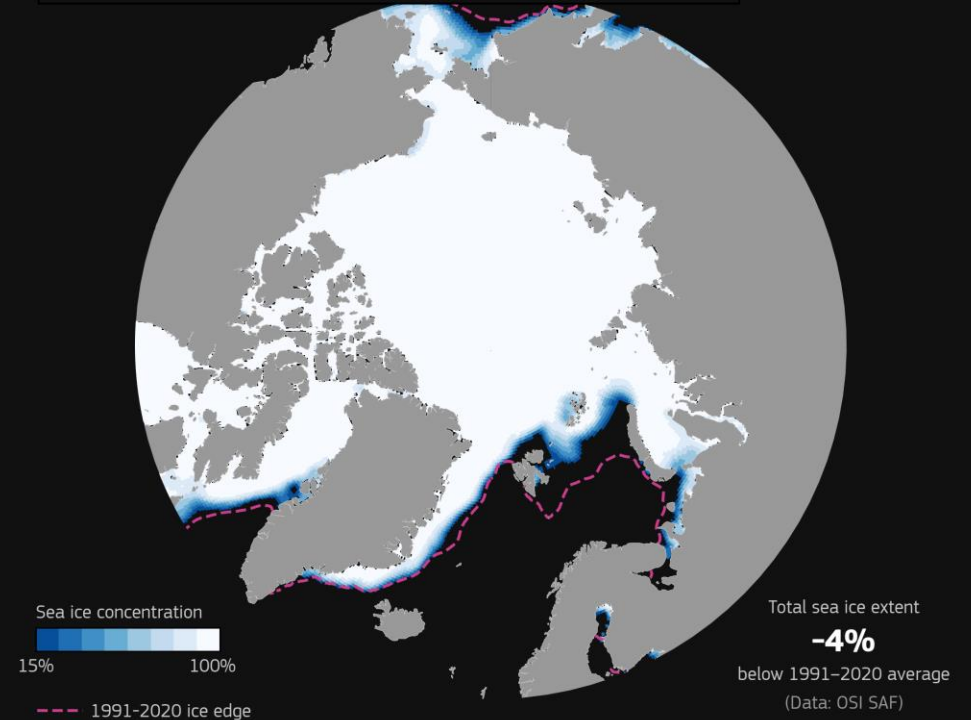


\*The uncertainty of the annual increase is CO<sub>2</sub> ±0.4ppm and CH<sub>4</sub> ±3ppb  
Data: C3S/Obs4MIPs and CAMS • Credit: C3S/CAMS/ECMWF/University of Bremen/SRON



## ARCTIC SEA ICE • JANUARY 2023

Data: ERA5 & OSI SAF Sea Ice Index v2.2 • Credit C3S/ECMWF/EUMETSAT



A megfigyelt változások felhívják a figyelmet, hogy milyen sürgető szükség van arra, hogy időben és hatékonyan felkészüljünk a várható változásokra.  
A jövőbeli változások számszerű vizsgálatához a megfelelő eszköz pedig az **éghajlati modellezés**.

# Tartalom

1. Éghajlat, éghajlatváltozás
2. **Az éghajlat modellezése**
3. Mivel foglalkozunk?



# Meteorológiai modellezés

- az éghajlati rendszert és minden elemét, valamint a közöttük lévő kölcsönhatásokat **fizikai törvények** kormányozzák

- ✓ Newton II. törvénye:  
mozgásegyenletek
- ✓ Tömegmegmaradás
- ✓ Nedvesség tömegmegmaradása
- ✓ Energiamegmaradás
- ✓ Állapotegyenlet (gáztörvény)



Modellezés: a valóság leképezése

# Meteorológiai modellezés

- az éghajlati rendszert és minden elemét, valamint a közöttük lévő kölcsönhatásokat **fizikai törvények** kormányozzák



Modellezés: a valóság leképezése

## A hidro-termodinamikai egyenletrendszer

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \vec{g} - 2\vec{\Omega} \times \vec{V}$$

$$\frac{d\rho}{dt} = -\rho \nabla \cdot \vec{V}$$

$$\frac{dq}{dt} = -\frac{M}{\rho}$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{\rho c_p} Q + \frac{RT}{\rho c_p} \frac{dp}{dt}$$

$$p = \rho RT$$

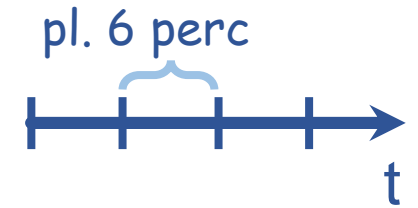
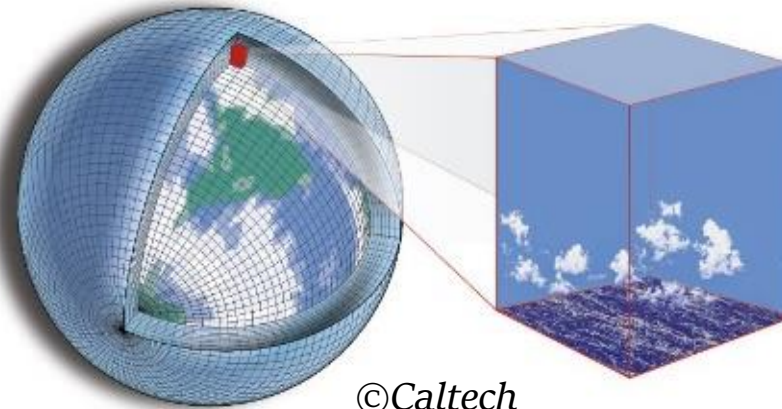
- ezeket **matematikai egyenletrendszerrel** írjuk le (áramlási sebesség, hőmérséklet, nedvesség és nyomás időbeli fejlődése)
- **célja:** a valós időjárást, éghajlatot megismerni, leírni, előrejelezni
- keressük az egyenletrendszer megoldását, **nincs „megoldóképlet”** ➔ **Közelítő módszereket** kell alkalmaznunk

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$



# Meteorológiai modellezés

- az egyenleteket **minden időlépésben**, a Földet lefedő térbeli rács **minden rácspontjára** oldjuk meg



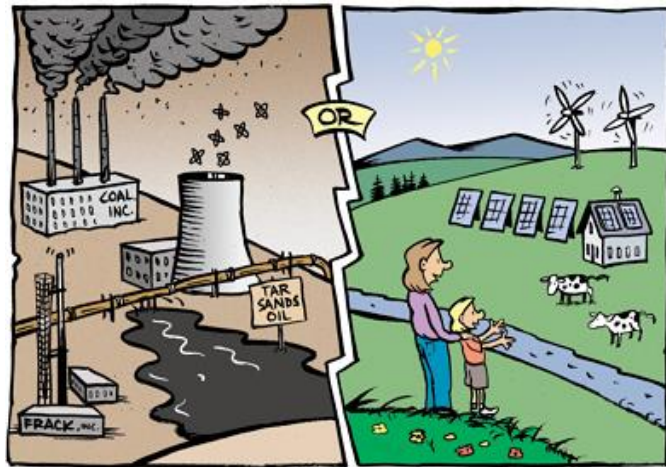
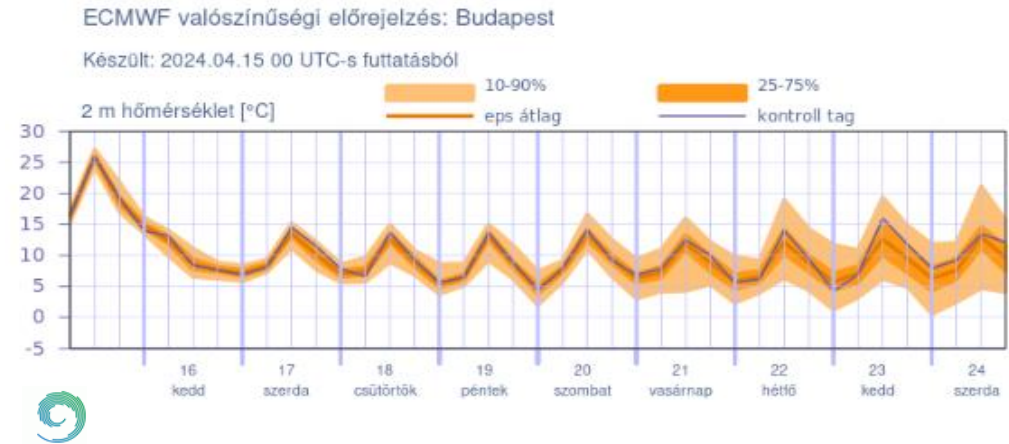
szuperszámítógép

- a megoldás rendkívül számításigényes, ezért a műveleteket **szuperszámító-gépekkel** oldjuk meg

# Időjárás előrejelzés vs. klímamodellezés

## Időjárás előrejelzés

- A **légköri** (+ felszíni) folyamatok változását tekintjük
- Előrejelzés: pontos időbeli és térbeli leírás
- A **kiindulási állapot** meghatározása kulcsfontosságú



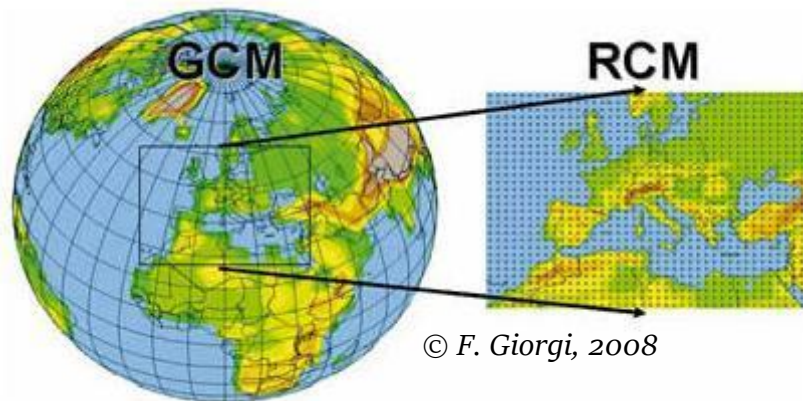
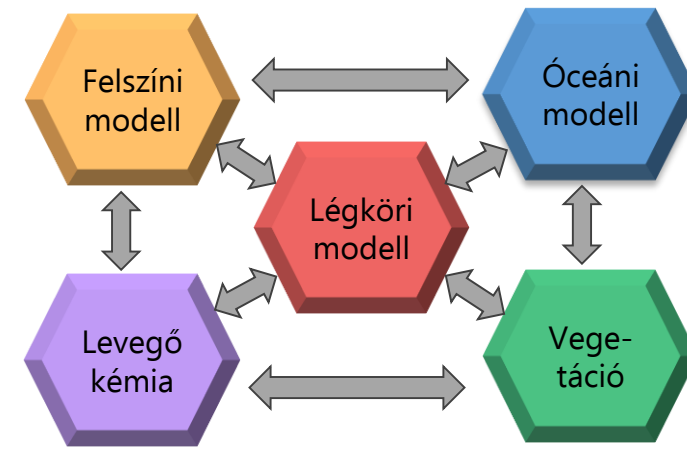
## Klímamodellezés

- A kiindulási állapot elveszíti jelentőségét, **külső kényszerek** kormányozzák a rendszert
- A **teljes éghajlati rendszer** hosszú távú, lassú változásait írjuk le
- Szokásos viselkedést írunk le (nem 2050 egyik napjának időjárása)

# Az éghajlat modellezése

## Globális modellek

- 100–250 km horizontális felbontás
- Légtörri-óceáni modellek, Föld-rendszer modellek
- Alkalmazás: az éghajlati rendszer válasza valamilyen megváltozott kényszerre



© F. Giorgi, 2008

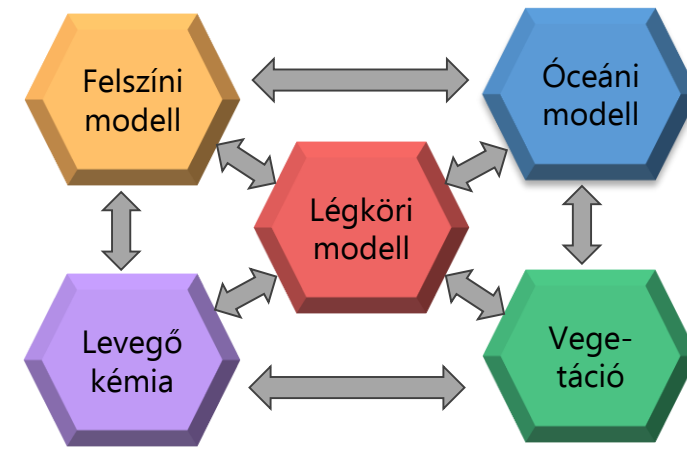
## Regionális modellek

- Általában légtörri modellek
- Kisebb tartomány, finomabb felbontás (10-25 km) → lehetővé téve a folyamatok pontosabb leírása
- Alkalmazás: a globális információ finomítása, regionális változások vizsgálata

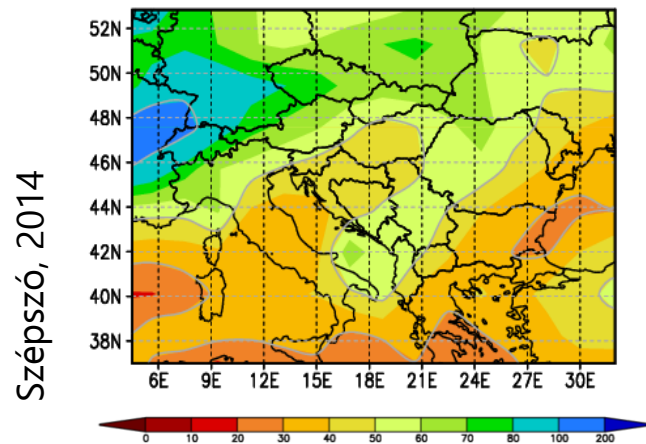
# Az éghajlat modellezése

## Globális modellek

- 100–250 km horizontális felbontás
- Légköri-óceáni modellek, Föld-rendszer modellek
- Alkalmazás: az éghajlati rendszer válasza valamilyen megváltozott kényszerre



Átlagos évi csapadék [mm/hónap]  
1961–1990, globális (200 km)



## Regionális modellek

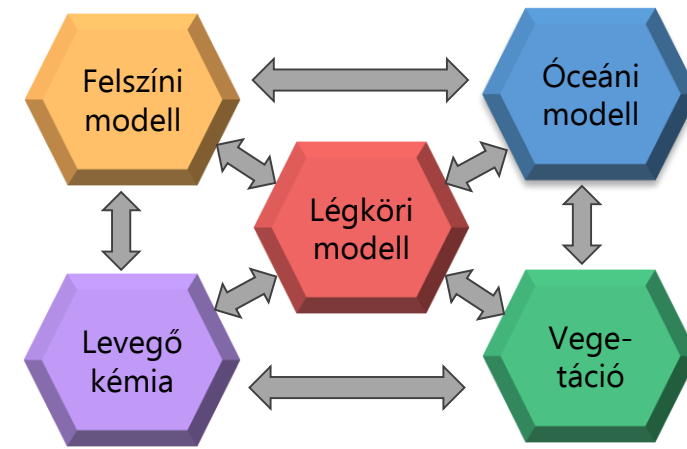
- Általában légköri modellek
- Kisebb tartomány, finomabb felbontás (10-25 km) → lehetővé téve a folyamatok pontosabb leírása
- Alkalmazás: a globális információ finomítása, regionális változások vizsgálata



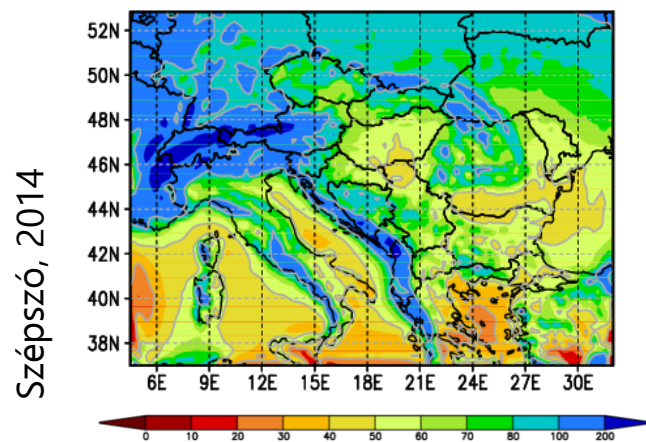
# Az éghajlat modellezése

## Globális modellek

- 100–250 km horizontális felbontás
- Léggöri-óceáni modellek, Föld-rendszer modellek
- Alkalmazás: az éghajlati rendszer válasza valamilyen megváltozott kényszerre



Átlagos évi csapadék [mm/hónap]  
1961–1990, regionális (25 km)



## Regionális modellek

- Általában léggöri modellek
- Kisebb tartomány, finomabb felbontás (10-25 km) → lehetővé téve a folyamatok pontosabb leírása
- Alkalmazás: a globális információ finomítása, regionális változások vizsgálata



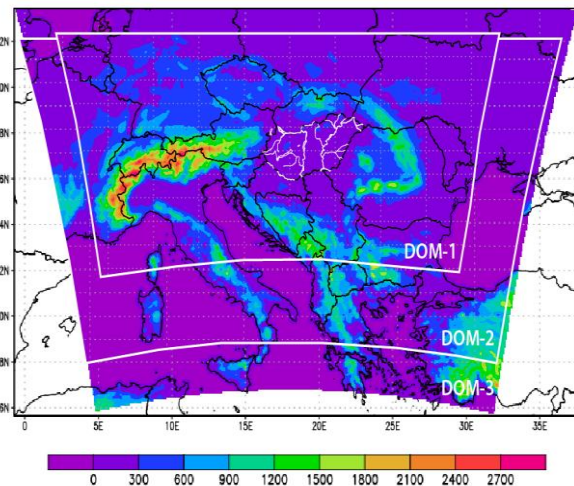
# A regionális klímamodellek alkalmazása

A modelleket egy múltbeli időpontból indítjuk és a XXI. század végéig futtatjuk: jellemzően 1950–2100-ig.

## Tesztelés/érzékenység vizsgálat:

futtatás rövidebb, pl. 10 éves időszakon, integrálási tartomány, felbontás kiválasztása

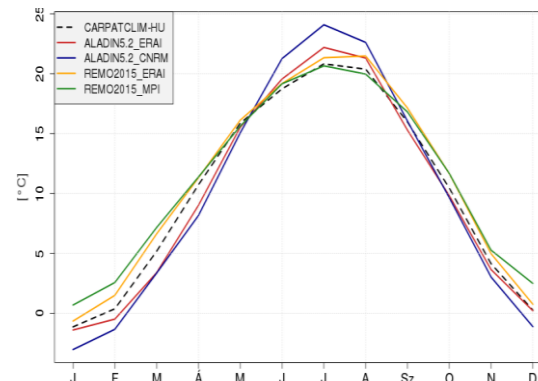
REMO2015 tartományok



Suga et al., 2021

## Validáció:

a modelleredményeket múltbeli időszakon rácsra interpolált mérésekkel vetjük össze. Elvárt pontosság: az éghajlati jellemzők leírása (legalább 20–30 évet vizsgálva)



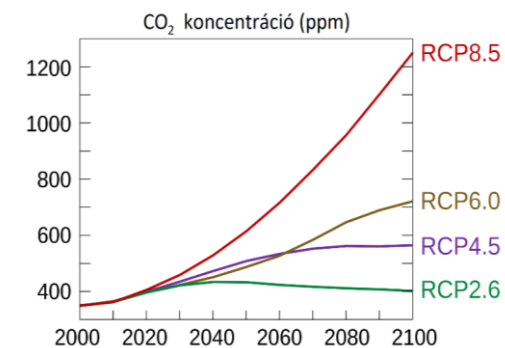
Megyeri-Korotaj et al., 2023

## Projekció:

jövőbeli időszakon az emberi tevékenység alakulása bizonytalan, leírására forgatókönyvekkel történik

• Ha ... → ... akkor típusú kérdésre keressük a választ

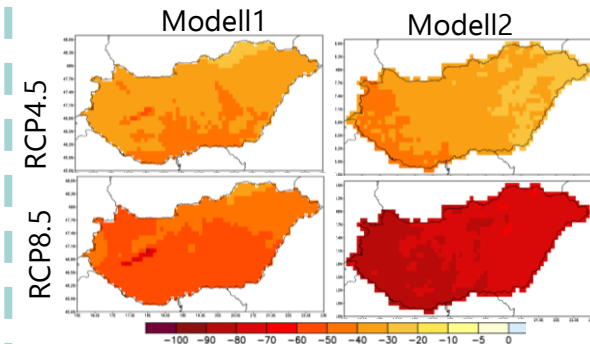
• ~~Előrejelzés~~ → **feltételes projekciók**



## Utófeldolgozás:

Hibakorrekció, döntést segítő információk előállítás (speciális paraméterek számítása, bizonytalanság becslése)

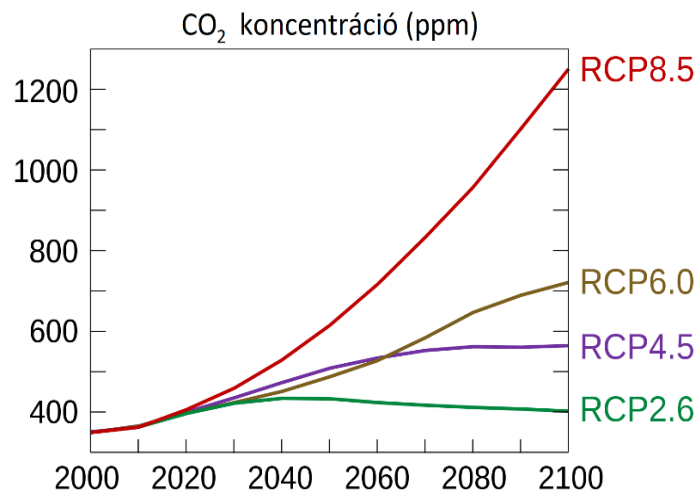
Fagyos napok számának éves relatív változása [%].  
Időszak: 2071–2100



Megyeri-Korotaj et al., 2022

# A modellezés bizonytalansága

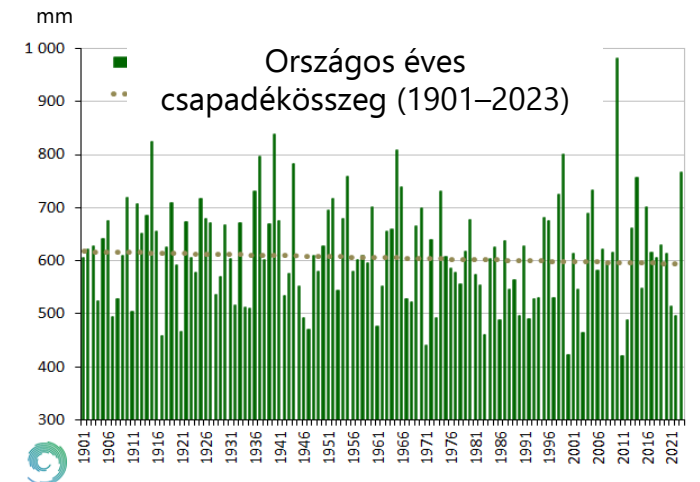
**1. Emberi tevékenység:** hogy alakul a jövőben? Csak feltételezések, forgatókönyvek



**2. Modellek közelítő jellege:** eltérő közelítő módszerek → eltérő eredmények



**3. Természetes változékonyság:** ingadozás → az éghajlati rendszer belső tulajdonsága

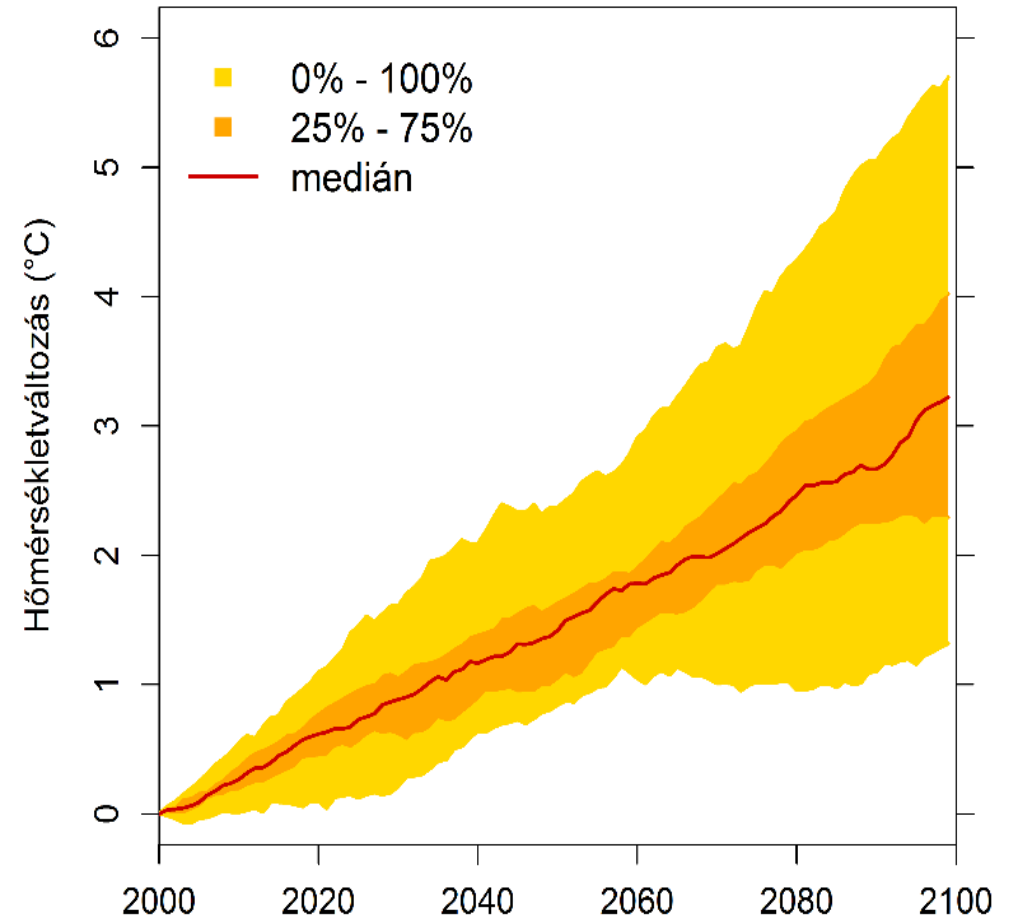


**Az éghajlatváltozás vizsgálatokor nem támaszkodhatunk egy modellkísérlet eredményére!**

# A modellezés bizonytalansága

- **A bizonytalanság számszerűsítése ensemble (együttes) módszerrel történik:** egy modellkísérlet helyett több szimulációt együttesen veszünk figyelembe
- Több forgatókönyv, több (globális és regionális) modell
- Az így készített projekciók egyformán lehetségesek → **valószínűségi információ**

Magyarországi évi átlaghőmérséklet változása [°C]  
Referencia: 1971-2000



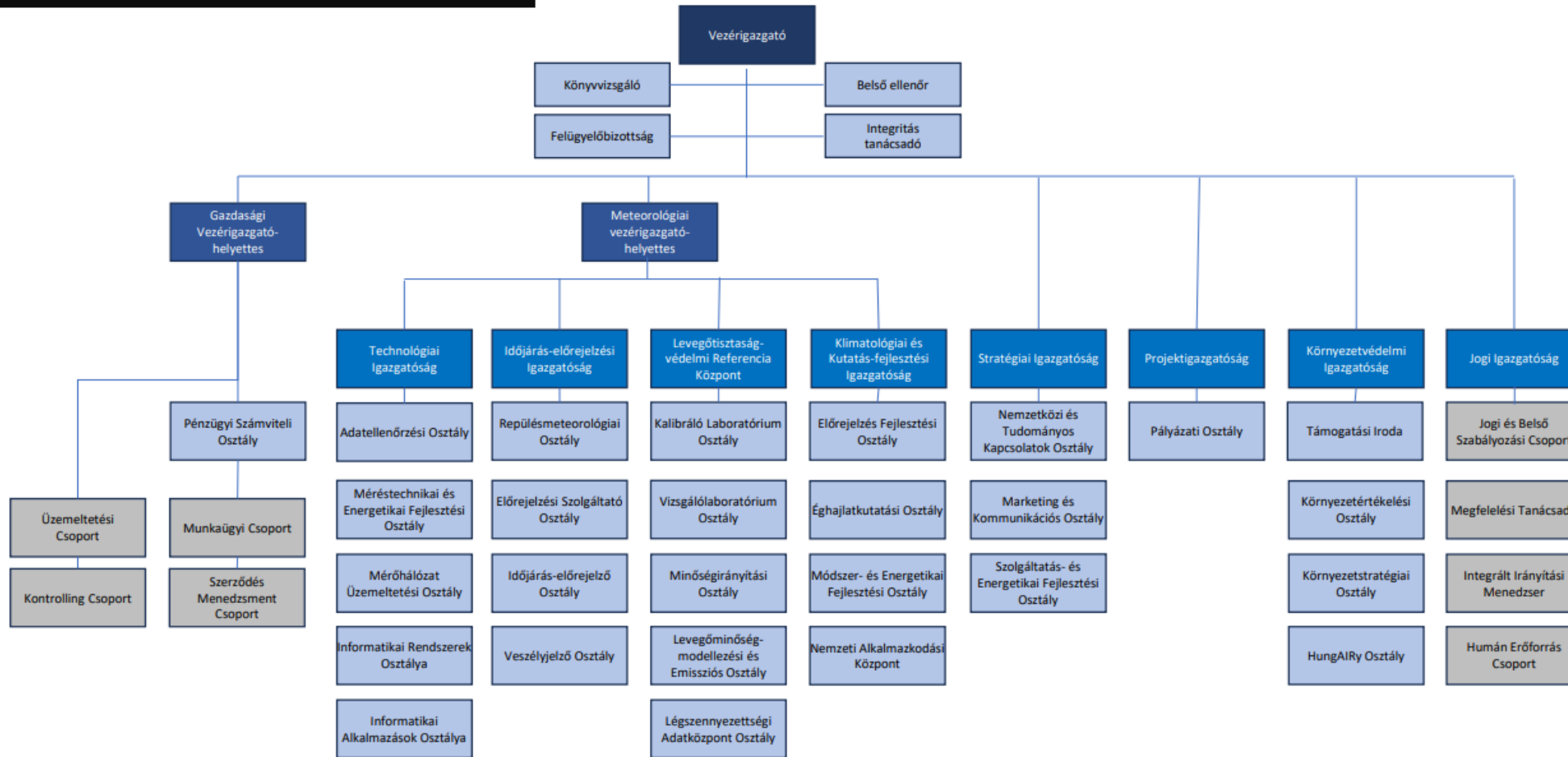
# Tartalom

1. Éghajlat, éghajlatváltozás
2. Az éghajlat modellezése
3. **Mivel foglalkozunk?**



# A Klímamodellező Csoport

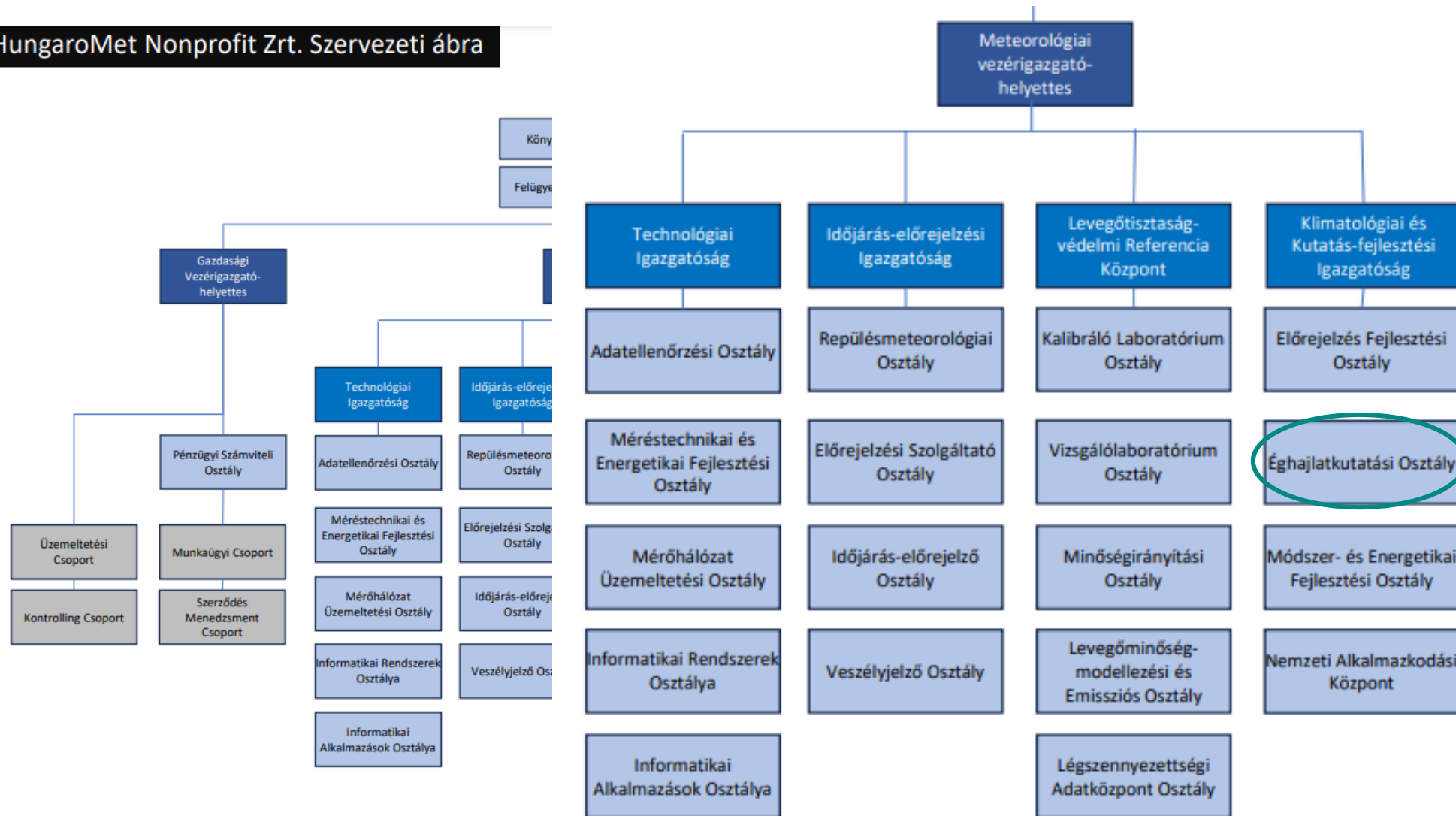
HungaroMet Nonprofit Zrt. Szervezeti ábra





# A Klímamodellező Csoport

HungaroMet Nonprofit Zrt. Szervezeti ábra



## Klímamodellező Csoport

- Allaga-Zsebeházi Gabriella
- Bordi Sára
- Duics-Korosecz Lilla
- Megyeri-Korotaj Otília
- Schuchné Bán Beatrix
- Zempléni Zsuzsanna

# Regionális modellkísérleteink

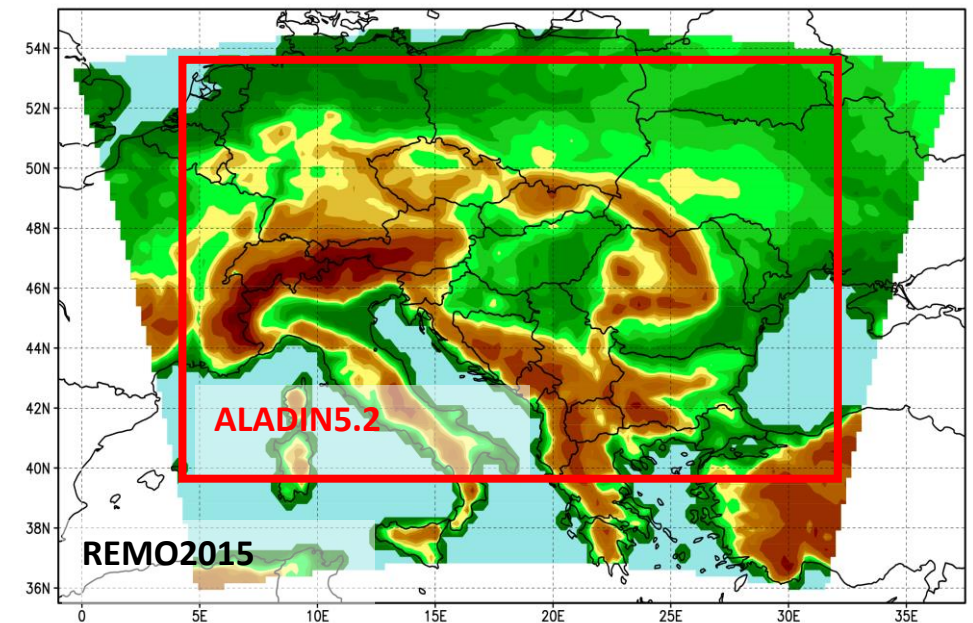
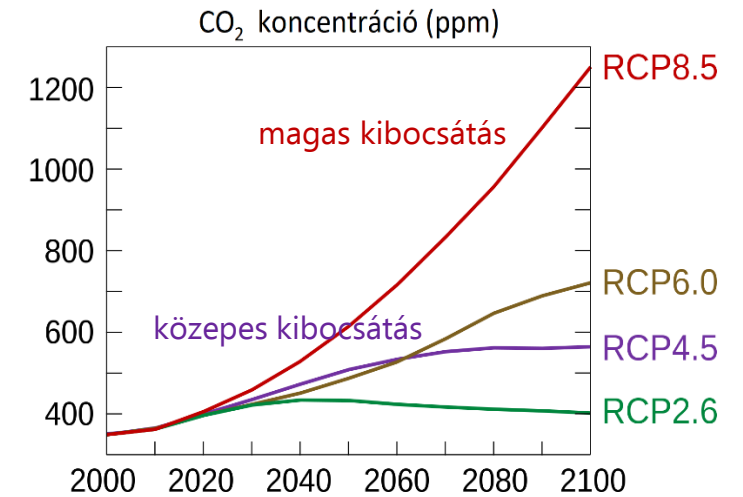
A vizsgálatok két modellel és két forgatókönyvvel folynak:

Modell	Felbontás	Időszak	Forgatókönyv
REMO2015	10 km	1950–2100	RCP4.5, RCP8.5
ALADIN5.2	10 km	1950–2100	RCP4.5, RCP8.5



Ez összesen 4 szimulációt jelent

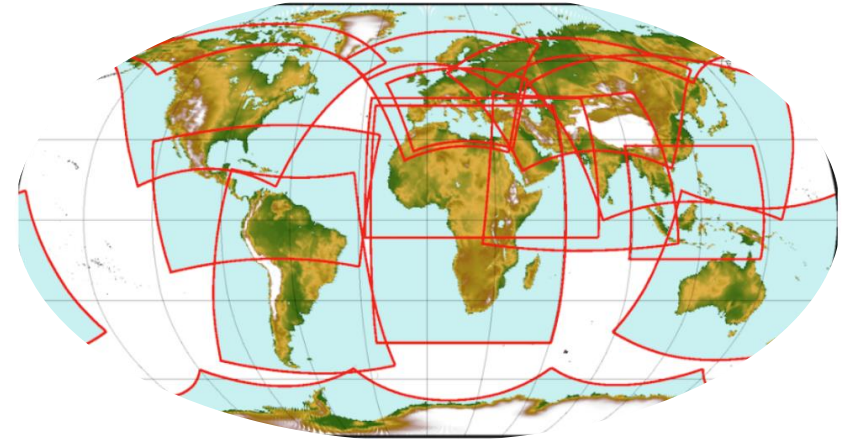
- További vizsgálatok európai modelleredmények felhasználásával
  - Jövőbeli változások vizsgálatának fő időszakai: 2021–2050, 2041–2070, 2071–2100
  - Referencia: 1971–2000
- + új éghajlati modell **HARMONIE-Climate (HCLIM)** adaptálása



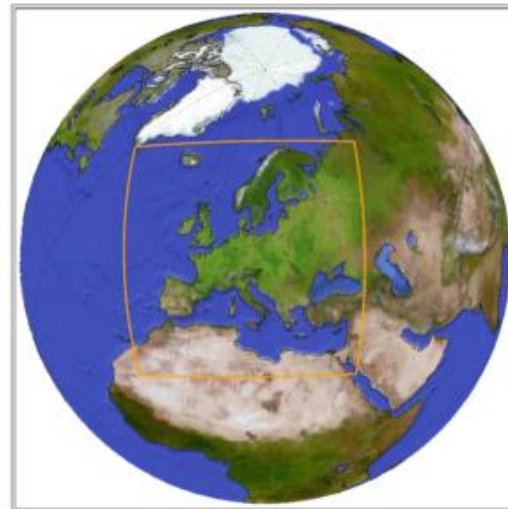
# Európai modelleredmények használata

Regionális Modellezési Program: **CORDEX** (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment)

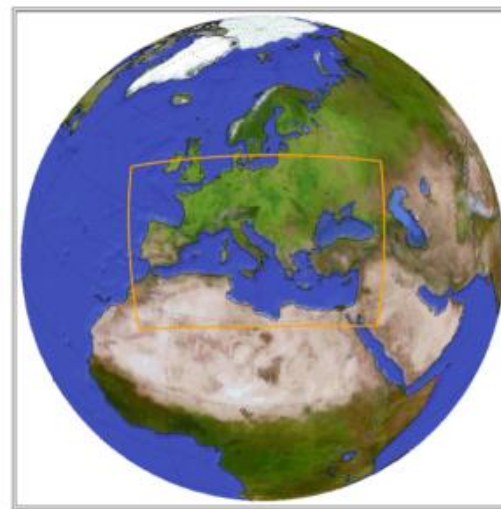
- előre meghatározott szempontok szerint szimulációk készítése  
→ összehasonlítható eredmények
- globális modellek leskálázása



EURO-CORDEX



MED-CORDEX



# Modelleredmények felhasználása

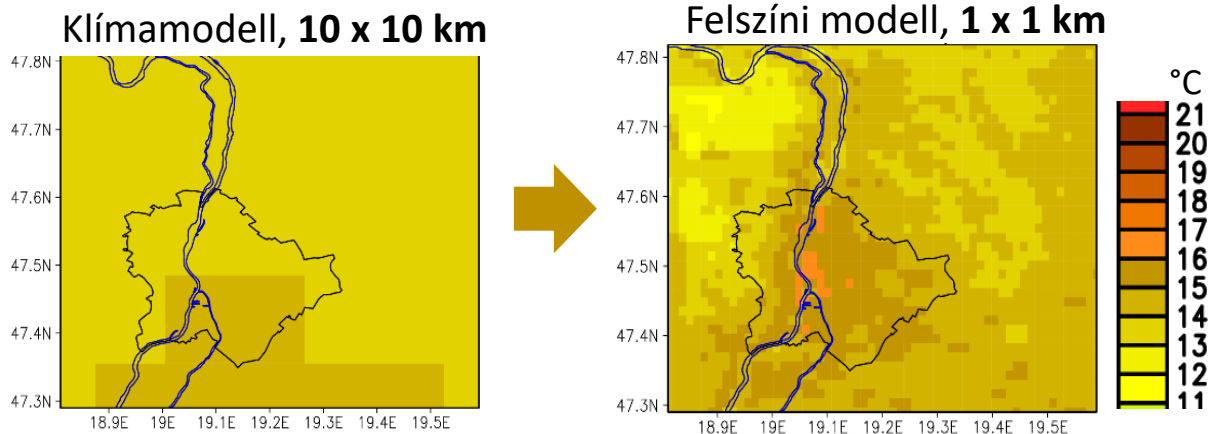
- Alkalmazkodási és mérséklési tervek, cselekvések támogatása meteorológiai információkkal
- Hatásvizsgálatok: az éghajlatváltozás hogyan hat a környezetre, társadalomra, gazdaságra, stb.

## Hatások vizsgálata a HungaroMet-nél:

### Városi környezet modellezése

A városi körülményeket a regionális modellek **ma még nem** tudják leírni → **felszíni modell** alkalmazása

Éves átlaghőmérséklet 2071-2100, RCP8.5



Éghajlatváltozás vizsgálata  
(**modelleredmények + bizonytalanság**)

**Hatások** vizsgálata (speciális modellel,  
éghajlati indikátorok számításával)



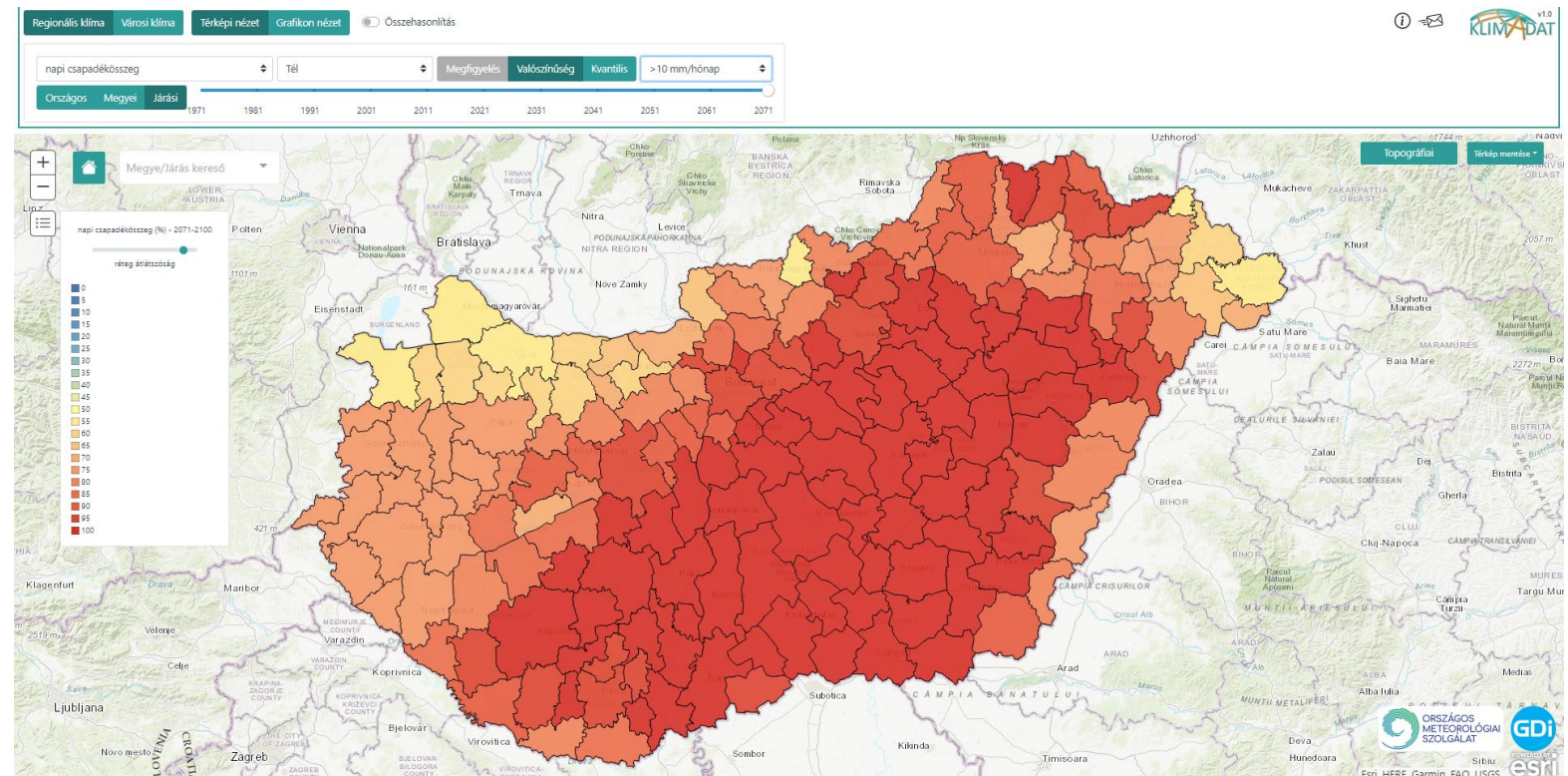
Eredmények felhasználása:  
**tervezés, döntéshozatal során**  
(pl. **városfejlesztés**)



# KLIMADAT adatbázis



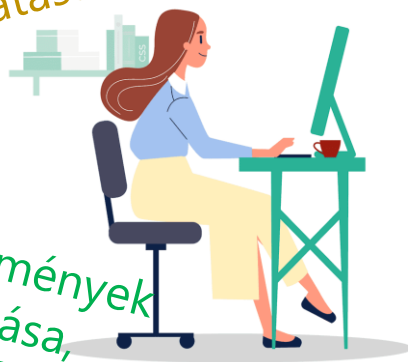
- **KLIMADAT:** Magyarországra és Budapestre vonatkozó, méréseken és modelleredményeken alapuló **éghajlati adatbázis és megjelenítő rendszer**
- Publikusan elérhető honlap: <https://klimadat.met.hu>
- Megjeleníthető és letölthető térképek és grafikonok
- Kiszolgálandó igények: éghajlati hatásvizsgálatok, stratégia alkotás, ismeretterjesztés, média, egyéni érdeklődés
- Folyamatos bővítés, fejlesztés





# Mit csinál egy klímamodellező?

Klímamodellek telepítése, tesztelése, futtatása



Modelleredmények feldolgozása, kiértékelése

Információt és szolgáltatást nyújtunk számos vizsgálathoz



Többszöri egyeztetés a felhasználókkal, új paraméterek előállítása

Eredményeink publikálása tudományos folyóiratokban



Article  
**Assessment of Climate Indices over the Carpathian Basin Based on ALADIN5.2 and REMO2015 Regional Climate Model Simulations**

Otilia A. Megyeri-Korotaj, Beatrix Bán, Réka Suga, Gabriella Allaga-Zsebeházi and Gabriella Szépszó



DOI:10.28974/idojaras.2021.4.6

**IDŐJÁRÁS**

Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service  
Vol. 125, No. 4, October – December, 2021, pp. 647–673

**ALADIN-Climate at the Hungarian Meteorological Service: from the beginnings to the present day's results**

Beatrix Bán, Gabriella Szépszó, Gabriella Allaga-Zsebeházi and Samuel Somot



# Mit csinál még egy klímamodellező?

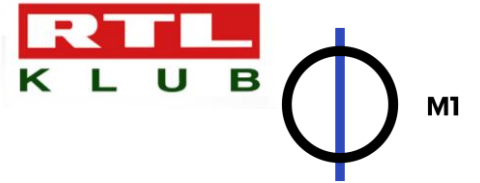
Szakmai munkacsoportokban részvétel



Workshopok: szervezés és részvétel



Oktatás: ELTE, BME, ME



Média kiszolgálása

Ismeretterjesztő előadások



Részvétel hazai és nemzetközi tudományos konferenciákon



European Meteorological Society



BERGEN, NORWAY  
VII Convection Permitting  
Climate Modeling Workshop



# Milyen elméleti és gyakorlati ismeretekre van szükség munkánkhoz?

- ✓ Dinamikus meteorológia, éghajlatlan, statisztika, matematika alapos ismerete
- ✓ A modellezéshez elengedhetetlen az elméleti háttér ismerete is (Numerikus modellezés)



```
15 set -x
16 #=====
17 NPROC=40
18 #NPROC=${NCPUS:-1}
19 #=====
20
21 #*****
22 # könyvtarak megadása
23 HOMEPATH=/vol1/ban_b/ALADIN_V5.2_GYAK
24 INPUT=${HOMEPATH}/927
25 WORKDIR=/vol002/ban_b/ALADIN_V5.2_GYAK/work//001
26 OUTPUTDIR=${HOMEPATH}/001
27 SFXOUTPUT=${HOMEPATH}/sfx001
28 #*****
29 # szukseges fajok mappai
30 inirespath=${HOMEPATH}/ELSC      # restart fajok az ujrainditashoz
31 sfxrespath=${HOMEPATH}/SFXRES    # surfex restart fajok az ujrainditashoz
32 climpath=${HOMEPATH}/clim/DOM2_10 # klimafajok
33 aeropath=${HOMEPATH}/clim       # aero es SST fajok
34 sfxdir=${HOMEPATH}/surfex/DOM2_1950 # surfex kezdeti feltetel, namelist
35
36 # binaris
37 MASTER=/home/aladin/pack/502_bf.01.INTEL.x/bin/MASTER
38
39
40 rm -f $HOMEPATH/src/ac001.*
41
42 #*****
43 # datum (ev, ho, nap) es NPASS (honapszamlalo) kiolvasasa a datumfajlbol
44 set -- `cat $HOMEPATH/date/date.001`
45 YYYY=$1
46 MM=$2
47 DD=$3
```

- ✓ Alap programozási ismeret
- ✓ A modellek Fortran programnyelven íródtak, azokat shell scriptekkel futtatjuk
- ✓ A feldolgozásban főleg Grads, cdo, R, programokat használunk, shell scriptekkel vezérelve automatizáljuk

Minden megtanulható



# Köszönöm a figyelmet!

Elérhetőség: [klimadinamika@met.hu](mailto:klimadinamika@met.hu)  
[ban.b@met.hu](mailto:ban.b@met.hu)

Honlap: [www.met.hu/RCM](http://www.met.hu/RCM)

